Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 6, Feb.-Mar. 2025, p. 667-682

Evaluation of Irrigation Management and Plastic Mulch Effects on Water Productivity and Quantitative and Qualitative Yield of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.)

N. Najafi Iman Abadi[1], M.A. Gholami Sefidkouhi[2*], S. Shiukhy-Soqanloo[3]

1, 2 and 3- M.Sc Graduated, Professor of Irrigation and Drainage and Assistant Professor of Agro-Meteorology, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: magholamis@yahoo.com)

Received: 25-04-2024 Revised: 28-10-2024 Accepted: 18-01-2025 Available Online: 18-01-2025	**How to cite this article:** Najafi Iman Abadi, N., Gholami Sefidkouhi, M.A., & Shiukhy-Soqanloo, S. (2025). Evaluation of irrigation management and plastic mulch effects on water productivity and quantitative and qualitative yield of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Water and Soil, 38*(6), 667-682. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2025.87779.1405

Introduction
Today, the crisis of water resources is one of the biggest challenges of human societies. Population growth and industrialization have increased the demand for water consumption. The agricultural sector is facing many problems to supply the required water resources. Irrigation management and the use of plastic mulches play a crucial role in raised-bed cultivation of horticultural and medicinal plants, serving various purposes such as enhancing quality and increasing yield. Moreover, given the current water scarcity conditions, improving the quantitative and qualitative yield of medicinal plants relies heavily on effective irrigation management and efficient cultivation practices.

Material and Methods
In this research, a split-plot experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD). The experimental treatments included: the main factor of irrigation management (IM) with four levels (IM100, IM80, IM60 and IM40) and the sub-factor of plastic mulch (PM) with two levels (black plastic mulch (PM1) and no mulch (PM0)) with 3 replications during the growth season 2022-2023 and was conducted at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Iran. The dimensions of the experimental plot was arranged as 1.80 × 1.20 meters (length and width). Lemon balm was planted in rows with a spacing of 30 cm between plants and 40 cm between rows. Soil moisture was measured by weight method and irrigation was done manually with a sprinkler. In the end, the data obtained from measuring water productivity (WP), relative water content (RWC), essential oil content, morphological and biochemical characteristics of lemon balm were analyzed using ANOVA of SAS software. The Duncan multiple range post hoc test was employed to compare treatment means.

Result
Based on the findings, the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on water productivity was significant. So, the IM100 conditions and PM1, the highest water productivity was observed with 38.5 $kg.m^{-3}$ and the lowest amount was related to IM40 and PM0 25 kg m^{-3}. The results showed that the simple effect of IM on the RWC in IM100 was very noticeable and obvious compared to other IMs. The highest (74.3%) RWC was observed in IM100, while the lowest RWC was related to IM40 (40.1%). In PM1, the highest amount

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.87779.1405

of RWC (62.1%) was observed and the lowest amount was related to the PM0 (51.8%). The results showed that vegetative wet and dry weight, leaf area index (LAI) and the number of lateral branches of lemon balm increased under the IMs and PM1 affect compared to the control (PM0). The comparison of averages indicated that the highest wet and dry root weights were 217 kg ha^{-1} and 140.8 kg ha^{-1}, respectively, observed in the IM100 treatment. Additionally, the highest wet and dry root weights under the plastic mulch treatment (PM1) were 151.1 kg ha^{-1} and 108.5 kg ha^{-1}, respectively. The results also showed that the highest vegetative wet and dry weights were recorded at 647.2 kg ha^{-1} and 231 kg ha^{-1}, respectively, in the IM100 treatment. Furthermore, the interaction effect of irrigation management (IM) and plastic mulch (PM) on the leaf area index revealed that the highest LAI value (2.8) was observed in the IM100 and PM1 combination. This was while the lowest value of the LAI was related to IM40 and PM0. The interaction effect of IM and PM on the number of lateral branches indicated that IM100 and PM1, the highest number of lateral branches (12) was generated. Based on the obtained results, the highest amount of phenol and flavonoids content were related to IM40 and PM0 with 13.4 mg.GA g^{-1} and 14.6 mg.QU g^{-1}, respectively. While their lowest amount was observed under IM100 and PM1 with 10.2 mg.GA g^{-1} and 11.8 mg.QU g^{-1}, respectively. Also, the results showed that the highest essential oil content was related to IM100 and IM80 conditions with 1.14% and 1.13 %, respectively, and the lowest was observed in IM40 condition with 0.53%.

Conclusion

The evaluation of the irrigation management and plastic mulch effects on water productivity and quantitative and qualitative yield of lemon balm showed that the use of plastic mulch by maintaining soil moisture and improving cultivation conditions, increased the vegetative growth and some qualitative characteristics. In general, due to the crisis of lack of water resources and the challenge of water scarcity, irrigation under IM80 conditions and the use of black plastic mulch in the rise-bed of lemon balm are suggested.

Keywords: Essential oil, Leaf area index, Medicinal, Phenol content, Water deficit

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۳، ص. ۶۸۲-۶۶۷

ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)

نیلوفر نجفی ایمن آبادی[۱]- محمد علی غلامی سفیدکوهی[۲]*- سعید شیوخی سوغانلو[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

چکیده

امروزه نقش مدیریت آبیاری و استفاده از مالچ‌های پلاستیکی در بستر کشت گیاهان باغی و دارویی با اهداف مختلفی مانند بهبود کیفیت و افزایش عملکرد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی، اهمیت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی با توجه به شرایط کم‌آبی حاضر، در گرو مدیریت آبیاری و شیوه‌های کشت کارآمد می‌باشد. به‌منظور ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه، آزمایش با آرایش کرت خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل؛ فاکتور اصلی مدیریت آبیاری (IM) با چهار سطح (IM100، IM80، IM60 و IM40) و فاکتور فرعی مالچ پلاستیکی (PM) با دو سطح (مالچ پلاستیکی سیاه (PM1) و بدون مالچ (PM0)) در ۳ تکرار انجام شد. بر پایه یافته‌ها، در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین میزان بهره‌وری آب با ۳۸/۵ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین آن در IM40 و بدون مالچ پلاستیکی با ۲۴/۹ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ گیاه مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM100 با ۷۴/۳ درصد بود. نتایج نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ و تعداد شاخه‌های جانبی بادرنجبویه نسبت به شرایط بدون مالچ، افزایش یافت. بیشترین میزان محتوای فنل و فلاونویید به‌ترتیب با مقادیر ۱۳/۴ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم و ۱۴/۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM40 و بدون مالچ پلاستیکی بود. بیشترین درصد اسانس مربوط به شرایط آبیاری IM100 و IM80 به‌ترتیب با ۱/۱۴ و ۱/۱۳ درصد بود و کمترین میزان آن در شرایط آبیاری IM40 با ۰/۵۳ درصد مشاهده شد. به‌طور کلی، با توجه به بحران کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی، آبیاری تحت شرایط IM80 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت گیاه دارویی بادرنجبویه پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، دارویی، شاخص سطح برگ، کم‌آبی، محتوای فنل

مقدمه

بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) گیاهی دارویی متعلق به خانواده نعناعیان است که از رایج‌ترین خواص درمانی آن می‌توان به خواص آرام‌بخشی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی اشاره کرد (Nourbakhsh Rezaei *et al*., 2019). امروزه اهمیت گیاهان دارویی و شناسایی نقش بارز و آشکار آنها در پیشبرد اهداف ملی، منطقه‌ای و جهانی برای تحقق سلامت، خودکفایی دارویی، ایجاد اشتغال و توسعه اقتصادی بر کسی پوشیده نیست. گیاهان دارویی به‌عنوان ذخائر و گنجینه‌های ژنتیکی می‌توانند بزرگترین ثروت ملی برای هر کشور و به‌عنوان یکی از تولیدات مهم و ضروری در بخش

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، استاد و استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: magholamis@yahoo.com)

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.87779.1405

کشاورزی محسوب شوند (Naveed *et al.*, 2020).

یکی از بزرگترین چالش‌هایی که امروزه جوامع بشری با آن مواجه هستند، نقصان شدید منابع آبی جهت تأمین نیاز آبی محصولات است (Alizadegan *et al.*, 2022a). در گذشته آبیاری محصولات کشاورزی بدون هیچ‌گونه محدودیتی از نظر تأمین منابع آبی صورت می‌گرفت (Alizadegan *et al.*, 2022b). اما با رشد جمعیت و صنعتی شدن جوامع، تقاضا برای مصرف آب افزایش یافت. لذا بخش کشاورزی برای تأمین منابع آبی مورد نیاز در کشت محصولات کشاورزی، با مشکلات متعددی مواجه می‌باشد (Mokari *et al.*, 2020).

تنش آبی که از مهمترین تنش‌های محیطی به‌شمار می‌رود، به‌دلیل تأثیر زیاد بر عملکرد، بخش عمده‌ای از توجه پژوهش‌گران و صاحب‌نظران را در اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در بخش کشاورزی را معطوف خود ساخته است (Shiukhy Soqanloo, 2023). با برنامه‌ریزی صحیح و تعیین مناسب زمان و ارتفاع آبیاری، آب موردنیاز گیاه تأمین خواهد شد و ضمن جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب از بروز تنش آبی و کاهش عملکرد محصول نیز جلوگیری می‌شود (Shiukhy Soqanloo *et al.*, 2021). یکی از اقدامات مدیریتی در هر عملیات زراعی، آبیاری به‌هنگام است، یعنی این که گیاه به‌موقع و به‌اندازه موردنیاز خود آب دریافت کند (Alizadegan *et al.*, 2022b). آبیاری کمتر از نیاز آبی باعث ایجاد تنش در گیاه شده و افت عملکرد را سبب می‌شود و آبیاری بیشتر از حد نیاز، موجب هدر رفتن آب و همچنین ایجاد ورس می‌شود. آب مورد نیاز و دور آبیاری گیاهان زراعی بستگی به روش آبیاری، بافت خاک، رقم (دیررس یا زودرس) و اقلیم هر منطقه دارد (Karimi *et al.*, 2020).

بررسی تنش‌های محیطی و نقش آنها در ارزیابی رشد و عملکرد محصولات زراعی و باغی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تنش‌های غیر زیستی محدودیت قابل توجهی برای تولید محصول و امنیت غذایی در سرتاسر جهان محسوب می‌شوند (Ray *et al.*, 2018). گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی پاسخ‌های متفاوتی از جمله؛ تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، متابولیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را نشان می‌دهند که در نهایت رشد و نمو گیاه را با محدودیت مواجه ساخته و باعث کاهش عملکرد می‌شوند (Fahad *et al.*, 2017). این امر باعث می‌شود گیاهان در سازگاری با شرایط بروز تنش با توجه به گونه و زمان وقوع تنش در هر یک از مراحل رشد و نمو، پاسخ متفاوتی را نشان دهند (Wei *et al.*, 2018). قربانلی و همکاران (Ghorbanli *et al.*, 2012) بیان کردند که میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنلی و پرولین گیاه دارویی کتان (*Linum usitatissimum* L.) با افزایش تنش خشکی افزایش یافت. همچنین میزان فلاونوئید در شرایط بروز تنش خشکی $FC_{2.3}$ و $FC_{1.3}$ (نسبت به ظرفیت زراعی) ابتدا افزایش و بعد کمی کاهش یافت، اما به هر حال در مقایسه با تیمار شاهد (شرایط FC) میزان فلاونوئید افزایش یافت.

استفاده از مالچ‌های پلاستیکی رنگی در بستر کشت گیاهان بویژه گیاهان باغی، تا حد قابل توجهی باعث کاهش تبخیر، جلوگیری از هدر رفت آب در خاک (Amare and Desta, 2021)، کنترل علف‌های هرز، بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Singh *et al.*, 2017). شیوخی و همکاران (Shiukhy *et al.*, 2015) از دیگر مزایای بهره‌گیری از مالچ‌های پلاستیکی به افزایش دمای خاک، افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی، افزایش پتانسیل ریشه برای جذب عناصرغذایی و بالا رفتن کارایی میکروارگانیسم‌ها در خاک اشاره کردند که در نهایت افزایش عملکرد گیاه را درپی دارد. شیوخی و رائینی (Shiukhy Soqanloo & Raeini, 2018) نشان دادند که استفاده از مالچ پلاستیکی قرمز سبب زودرسی، افزایش عملکرد میوه، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی در مقایسه با شرایط بدون مالچ (تیمار شاهد) شد. نتایج ال-ماجید و همکاران (El-Mageed *et al.*, 2016) نیز به برتری استفاده از مالچ نسبت به شرایط بدون مالچ در افزایش کارایی مصرف آب، کنترل علف‌های هرز، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد اشاره داشت.

با توجه به بحران کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی و همچنین نیاز روز افزون به فن‌آوری‌ها و شیوه‌های کشت کارآمد نسبت به روش‌های سنتی و مرسوم، ارتقای بهره‌وری آب و افزایش تولید در واحد سطح بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین پاسخ به سوالاتی از جمله؛ چگونگی تأثیر مالچ پلاستیکی و سطوح مختلف تنش خشکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی بادرنجبویه، افزایش بهره‌وری آب و کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی در طول دوره‌ی رشد و نمو گیاه خرفه مورد توجه قرار گرفت. در واقع، استفاده از مالچ پلاستیکی در بستر کشت گیاه بادرنجبویه، افزون بر کاهش میزان تبخیر از سطح خاک، افزایش دمای سطح خاک و کاهش میزان آب مصرفی در آبیاری، با فراهم ساختن شرایط مطلوب برای رشد و توسعه گیاه در مقایسه با شرایط بدون مالچ می‌تواند تا حدی اثرات نامطلوب تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را جبران نماید. لذا هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش در مزرعه آزمایشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در شهرستان ساری با ارتفاع از سطح دریا (۱۴ متر)، میانگین دما (۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد) و میانگین بارندگی (۶۵۰ میلی‌متر) می‌باشد. شرایط آب و هوایی محل آزمایش و ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه در طول دوره‌ی رشد و نمو گیاه بادرنجبویه در جدول ۱ ارایه شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شرایط آب و هوایی و خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some of the weather conditions and soil characteristics of experimental site

دوره رشد Growth season	متوسط دما Mean temperature (ºC)	دمای بیشینه Maximum temperature (ºC)	دمای کمینه Minimum temperature (ºC)	بارندگی Precipitation (mm)	تبخیر Evaporation (mm)
		شرایط آب و هوایی Weather conditions			
اردیبهشت (May)	27.1	36.2	16.2	95.2	140.4
خرداد (June)	30.3	33.6	23.4	22.1	159.9
تیر (July)	32.7	37.8	28.7	13.6	177.4
میانگین (Average)	30.0	35.8	22.7	43.6	159.2

مشخصات خاک (Soil characteristics)

بافت (Texture) شن Sand (%)	بافت (Texture) سیلت Silt (%)	بافت (Texture) رس Clay (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC*10^3 (ds.m^-1)	کربن آلی O.C (%)	ماده آلی O.M (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg^-1)	پتاسیم K (mg.kg^-1)
23	40	37	7.6	1.8	1.2	2	0.1	13	370

این آزمایش به‌صورت کرت خرد شده بر پایه ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل فاکتور اصلی مدیریت آبیاری (IM) با ۴ سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری (IM100)، ۸۰ درصد نیاز آبیاری (IM80)، ۶۰ درصد نیاز آبیاری (IM60) و ۴۰ درصد نیاز آبیاری (IM40) و فاکتور فرعی مالچ پلاستیکی (PM) با دو سطح بدون مالچ (PM0) و مالچ پلاستیکی سیاه (PM1) با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. ابعاد کرت آزمایشی شامل ۱/۸۰ × ۱/۲۰ متر (طول و عرض) در نظر گرفته شد. نشاء گیاه بادرنجبویه در ردیف‌هایی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۴۰ سانتی‌متر، در تاریخ ۱۰ اردیبهشت کشت شد. در طول دوره رشد، آبیاری بصورت دستی انجام شد. به‌طوری‌که ابتدا تمامی کرت‌ها به‌طور یکسان و به یک اندازه آبیاری شدند. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، آبیاری انجام شد. رطوبت خاک با استفاده از تانسیومتر پایش و زمانی‌که میزان آن به ۷۰ درصد می‌رسید (SWC=70)، آبیاری صورت می‌گرفت. لازم به ذکر است که تا مرحله ۸-۶ برگی شدن بوته‌ها، آبیاری کرت‌های آزمایشی با دور و مقدار یکسان بود و پس از این مرحله، تیمارهای تنش آبی اعمال شدند. به‌منظور جلوگیری از ورود باران به درون کرت‌ها، از سرپناه بارش[1] استفاده شد. همچنین برداشت در تاریخ ۲۰ تیرماه انجام گرفت.

سنجش ویژگی‌های مورفولوژیک

در پایان مرحله رشد رویشی گیاه بادرنجبویه (شروع گلدهی)، شاخص سطح برگ با استفاده از نرم افزار Image J و برای یک سطح معین ۴۰۰ سانتی‌متر مربع حاصل از یک کوادرات (۲۰ ×۲۰) محاسبه شد. در این روش ابتدا نمونه‌ها (برگ‌ها) بر روی یک صفحه کاغذی سفید رنگ قرار گرفته و عکس‌برداری انجام شد. سپس در بستر نرم‌افزار با استفاده از درجه‌بندی خط‌کش برحسب سانتی‌متر اقدام به تنظیمات مقیاس گردید و مساحت هر برگ با مرزبندی پیرامون برگ محاسبه شد. در مرحله‌ای که ظهور گل‌های اولیه در برخی از بوته مشاهده شد و حصول اطمینان که گیاه به مرحله گلدهی کامل نزدیک شده است، برداشت انجام شد. صفات رویشی شامل وزن تر (ریشه و اندام هوایی)، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی اندازه‌گیری شد. در پایان بوته‌های برداشت شده (کف‌بُر) در آون و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و پس از آن وزن خشک با توزین نمونه‌ها بدست آمد (Shiukhy Soqanloo *et al.*, 2021).

سنجش ویژگی‌های بیوشیمیایی

برای عصاره‌گیری از ماده خشک، ۱ گرم از بافت خشک با ۱۰ سی‌سی متانول ۸۰ درصد ترکیب شد و به‌مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفت. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه از دستگاه اولتراسونیک برای استخراج ترکیبات بیوشیمیایی استفاده شد. با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۲، فاز جامد و محلول از یکدیگر جدا شده و محلول بدست آمده برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی تهیه گردید. برای سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۴ میلی‌گرم از ماده DPPH در ۱۰۰ سی‌سی متانول خالص حل شد. سپس ۱ سی‌سی از

1- Rain shelter

عصاره تهیه شده با ۱ سی‌سی محلول DPPH ترکیب و به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفت. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. از متانول برای کالیبراسیون دستگاه استفاده شد و جذب محلول DPPH خالص نیز سنجیده شد. با استفاده از رابطه (۱) میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌صورت درصد مهار محاسبه شد (Ebrahimzadeh *et al*., 2008).

$$A = \frac{DPPH_{ab} - Sample_{ab}}{DPPH_{ab}} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن؛ $DPPH_{ab}$ و $Sample_{ab}$ به‌ترتیب مقدار جذب DPPH خالص و نمونه می‌باشند.

برای سنجش محتوای فلاونوئید از روش رنگ‌سنجی کلرید آمونیوم استفاده شد (Ebrahimzadeh *et al*., 2008). ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول و ۰/۱ سی‌سی آلومینیوم کلرید۱۰٪ با ۰/۱ سی‌سی استات پتاسیم یک مولار به‌همراه ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد تا نمونه نهایی حاصل شود. سپس مخلوط ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار داده شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت گردید. عدد بدست آمده برای فلاونوئید با رجوع به منحنی استاندارد تبدیل به میزان واقعی شد و در نهایت بر حسب اکی‌والان کوئرستین در یک گرم عصاره خشک محاسبه شد. سنجش محتوای ترکیبات فنلی کل با استفاده از روش معرف فولین سیو–کالتیو[1] انجام شد. برای عصاره‌گیری، ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره متانولی با ۲/۵ میلی‌لیتر فولین سیو کالتیو مخلوط گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم اضافه شد. محلول فوق ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفت و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. عدد بدست آمده برای ترکیبات فنلی کل با رجوع به منحنی استاندارد تبدیل به میزان واقعی شد و در نهایت بر حسب اکی‌والان گالیک اسید در یک گرم عصاره خشک محاسبه شد (Shiukhy Soqanloo & Raeini, 2018). با استفاده از روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر عمل اسانس‌گیری انجام شد. برای سنجش درصد اسانس از هر تیمار آزمایشی ۵۰ گرم پیکر رویشی، خشک و کاملا خرد شده تهیه شد و به نسبت ۲۰:۱ با آب مقطر مخلوط گردید و در بالن یک لیتری قرار گرفت. دما به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و پس از ۱۵۰ دقیقه میزان اسانس جمع‌آوری شده با استفاده از ۱ سی‌سی محلول هگزان باقی مانده اسانس از لوله کلونجر، جمع‌آوری شد. سپس در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و پس از پراندن (جداسازی) هگزان، اسانس خالص بدست آمد (Farzaneh *et al*., 2010).

سنجش بهره‌وری آب، محتوای آب نسبی

بهره‌وری آب از طریق رابطه (۲) محاسبه شد:

$$WP = \frac{GY}{Wap} \qquad (۲)$$

که در آن، WP: بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، GY: عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و Wap: میزان آب مصرفی (متر مکعب) می‌باشد.

برای سنجش محتوای نسبی آب (RWC) قطعات ۱سانتی‌متری از برگ‌های وسطی شاخه اصلی و از قسمت میانی برگ تهیه و وزن تر آن ها اندازه‌گیری شد. این قطعات به منظور تعیین وزن تورژسانس به‌مدت ۴ ساعت در شدت نور کم داخل آب مقطر قرار داده شدند. در انتها وزن خشک نمونه‌های برگی سنجش و محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۳) محاسبه شد (Farzaneh *et al*., 2010).

$$RWC(\%) = \frac{DW - WW}{TW - WW} \times 100 \qquad \text{رابطه } (۳)$$

که در آن RWC محتوی نسبی آب (درصد)، DW: وزن خشک (گرم)، WW: وزن تر(گرم) و TW: وزن تورژسانس (گرم) است.

در پایان داده‌های بدست آمده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SASver9.2 تجزیه و تحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش SNK[2] در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان از تأثیر بسیار معنی‌دار مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه دارویی بادرنجبویه دارد ($P \le 0.01$). به‌طوری‌که ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ و تعداد شاخه‌های جانبی تحت تأثیر مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی قرار گرفتند. بر پایه یافته‌ها، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ و تعداد شاخه‌های جانبی معنی‌دار بود ($P \le 0.05$). این در حالی بود که اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار نبود و تغییرات تقریباً یکسان بود (جدول ۲).

ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، در صورت اعمال مدیریت

---

1 Folin Ciocalteus Reagent

2- Student-Nueman-Kouel

آبیاری بدون استفاده از مالچ، حداکثر ارتفاع گیاه (۱۵/۶ سانتی‌متر) در شرایط مدیریت آبیاری IM100 بود و کمترین مقدار ارتفاع گیاه با ۱۳/۱ سانتی‌متر در شرایط مدیریت آبیاری IM40 مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه، مقدار ارتفاع گیاه به ۱۶ سانتی‌متر بوده است و این در حالی است که بدون استفاده از مالچ پلاستیکی، متوسط ارتفاع گیاه ۱۲/۳ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بادرنجبویه در طول فصل رشد

Table 2- Results of variance analysis of irrigation management and plastic mulch on the morphological characteristics of the Lemon Balm during the growing season

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square						
		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	وزن تر ریشه Root wet weight (g.2.6 m^{-2})	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.2.6 m^{-2})	وزن تر اندام هوایی Shoots wet weight (g.2.6 m^{-2})	وزن خشک اندام هوایی Shoots dry weight (g.2.6 m^{-2})	شاخص سطح برگ LAI (cm^{-2})	تعداد شاخه جانبی Num. lantern branch
بلوک (Block)	2	0.773ns	4864. 82ns	61. 6254ns	72.5117ns	60.2516ns	0.001ns	1.166ns
مدیریت آبیاری (IM)	3	6.308**	16089.0817**	6311.5267**	28828.8017**	5283.6337**	1.215**	32.152**
بلوک × مدیریت آبیاری Block × IM	6	0.113ns	1372.8467ns	220.2579ns	124.5417ns	57.84ns	0.010ns	0.611ns
مالچ (PM)	1	79.570**	35578.0761**	8242.6516**	75382.025**	25504.3281**	1.353**	35.041**
مدیریت آبیاری × مالچ IM ×PM	3	0.0815ns	6098.2317ns	1113.7611ns	5168.4983**	2824.8145**	0.048*	2.041*
خطا (Error)	8	0.387	2257.6939	472.5822	183.6433	64.0102	0.008	0.416
کل (Total)	23	–	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات (C.V)	–	4.3	5.2	2.2	2.6	4.5	4.2	8.8

**، * و ns به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

**, * and ns indicate significant difference at 1%, 5% and non-significance levels, respectively.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بادرنجبویه

Table 3- The results of the comparison of the mean effects of simple irrigation management and plastic mulch on the morphological characteristics of Lemon Balm

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	وزن تر ریشه Root wet weight (g.2.6 m^{-2})	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.2.6 m^{-2})	وزن تر اندام هوایی Shoots wet weight (g.2.6 m^{-2})	وزن خشک اندام هوایی Shoots wet weight (g.2.6 m^{-2})	شاخص سطح برگ LAI (cm^{-2})	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch
IM 100	15.6a	217.0a	140.8a	647.2a	231.0a	2.6a	10.1a
IM 80	14.1b	157.5a	100.5b	272.8b	172.1b	2.3b	7.8b
IM 60	13.8b	80.9b	70.4c	500.7c	124.1c	1.9c	6.5c
IM 40	13.1c	57.4b	45.5c	384.0d	79.0d	1.6d	4.6d
PM 1	16.0a	151.1a	108.5a	560.8a	166.4a	560.8a	8.5a
PM 0	12.3b	99.3b	76.1b	491.5b	136.7b	491.5b	6b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار ندارند.

Averages with common letters in each column have no significant difference

وزن تر و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط مدیریت آبیاری IM100، بیشترین وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب با ۲۱۷ و ۱۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان وزن تر و خشک ریشه در شرایط مدیریت آبیاری IM40 به‌ترتیب با ۵۷/۴ و ۴۵/۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه به‌ترتیب با ۱۵۱/۱ و ۱۰۸/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار وزن تر و خشک ریشه مربوط به شرایط بدون مالچ پلاستیکی، به‌ترتیب با ۹۹/۳ و ۷۶/۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳).

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده مدیریت آبیاری نشان داد

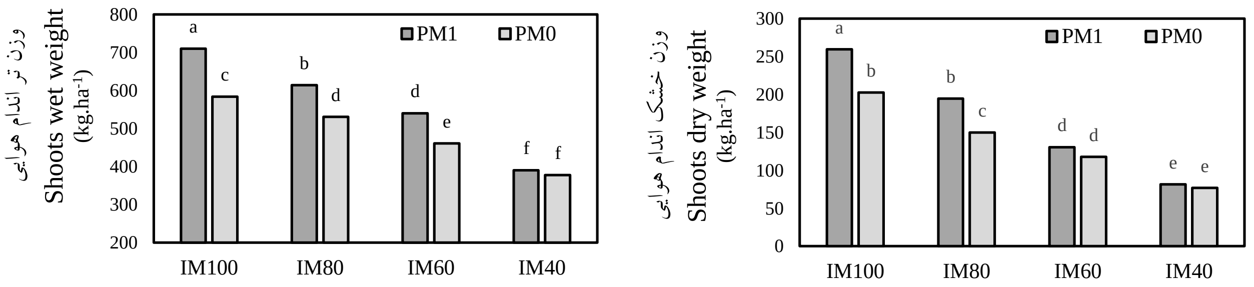
(جدول ۳) بالاترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه بادرنجبویه، در شرایط مدیریت آبیاری IM100 به‌ترتیب ۶۴۷/۲ و ۲۳۱ با کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در حالی‌که در شرایط مدیریت آبیاری IM40، پایین‌ترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب با ۳۸۴ و ۷۹ کیلوگرم در هکتار دیده شد. همچنین در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی به‌ترتیب با ۵۶۰/۸ و ۱۶۶/۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و کمترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی مربوط به شرایط بدون مالچ پلاستیکی، به‌ترتیب با ۴۹۱/۵ و ۱۳۶/۷ کیلوگرم در هکتار بود. بر پایه نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین‌ها، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی حاکی از آن بود که بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه با ۷۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM40 و در هر دو حالت استفاده از مالچ پلاستیکی و بدون مالچ پلاستیکی به‌ترتیب با ۳۹۰/۴ و ۳۷۷/۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱). همچنین بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه با ۲۵۹/۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین وزن خشک اندام هوایی نیز مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM40 و در هر دو حالت استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه و بدون مالچ پلاستیکی به‌ترتیب با ۸۱/۴ و ۷۶/۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱).

شاخص سطح برگ

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین شاخص سطح برگ با مقدار ۲/۶ مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM100 بود و کمترین مقدار شاخص سطح برگ با ۱/۶ در شرایط مدیریت آبیاری IM40 مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین مقدار شاخص سطح برگ با ۲/۳ و در شرایط بدون مالچ پلاستیکی، کمترین شاخص سطح برگ با مقدار ۱/۹ مشاهده شد (جدول ۳). بر پایه یافته‌ها، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر شاخص سطح برگ نشان داد که بیشترین میزان شاخص سطح برگ در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه، با ۲/۸ مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین مقدار شاخص سطح برگ مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM40 و بدون مالچ پلاستیکی، با ۱/۴ بود (شکل ۲).

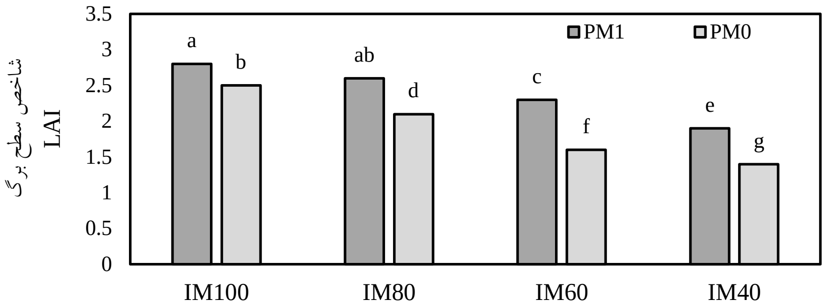
تعداد شاخه‌های جانبی

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بر اساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی گیاه بادرنجبویه در شرایط مدیریت آبیاری IM100، با ۱۰/۱ و کمترین آن در شرایط مدیریت آبیاری IM40 با ۴/۶ مشاهده شد. همچنین در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین و کمترین تعداد شاخه‌های جانبی به‌ترتیب با ۸/۵ و ۶ در شرایط IM100 و IM40 بدست آمد.



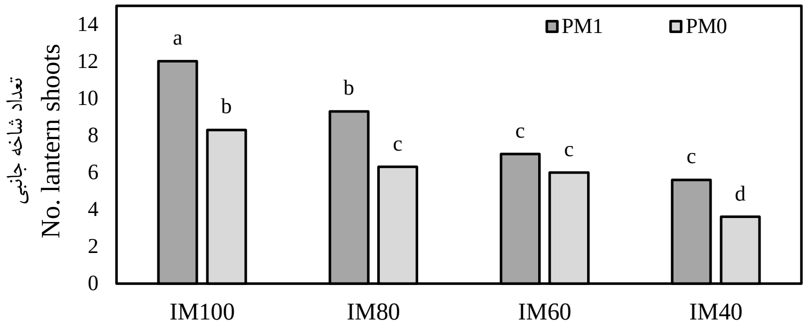
شکل ۱- ارزیابی اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی

Figure 1- Evaluation of the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on the foliage wet and dry weight



شکل ۲- ارزیابی اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر شاخص سطح برگ

Figure 2- Evaluation of the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on the leaf area index



شکل ۳- ارزیابی اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر تعداد شاخه‌های جانبی

Figure 3- Evaluation of the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on the number of lateral branches

بر پایه نتایج بدست آمده، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر تعداد شاخه‌های جانبی حاکی از آن بود که در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی با ۱۲ شاخه مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین تعداد شاخه‌های جانبی با ۳/۶ شاخه مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM40 و بدون مالچ پلاستیکی بود (شکل ۳).

ارتفاع گیاهان تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیطی نظیر رطوبت، نور، تغذیه، کمیت و کیفیت نور قرار می‌گیرد (Omidi *et al.*, 2021). معمولاً ارتفاع بوته بخش مهمی در تعیین عملکرد نیست ولی ارقامی که ارتفاع بلندتری دارند دارای عملکرد بیولوژیک بیشتری هستند. در اثر کمبود آب، تورژسانس سلولی و در نتیجه رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها دچار کاهش می‌گردد. به همین دلیل اولین اثر محسوس و قابل توجه کم‌آبی از اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان قابل تشخیص می‌باشد. به دنبال کاهش سطح برگ جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کاهش می‌یابد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در این شرایط رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن کاهش می‌یابد (Arabzadeh, 2012). همچنین گیاهان با قرار گرفتن در معرض تنش خشکی، نیز دچار کاهش آماس سلولی، سنتز آنزیم‌ها و مواد دیواره سلولی می‌شوند. خشکی در دوره طولانی شدن ساقه، به دلیل تأثیر منفی بر تشکیل گل و باروری باعث کاهش تعداد دانه در واحد سطح می‌شود. این کاهش ممکن است با کاهش رشد و نمو گیاه مرتبط باشد که منجر به کاهش ظرفیت منبع در گیاهان تحت تنش خشکی در مقایسه با گیاه تحت آبیاری کامل شود (Francia *et al.*, 2013). در شرایط وجود خشکی روند انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی بدلیل کاهش تعرق گیاه کند شده و شاخص برداشت نیز دچار کاهش خواهد شد (Shiukhy-Soqanloo *et al.*, 2021). نتایج حلیم و همکاران (Halim *et al.*, 2018) نیز موید کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش بود و نشان دادند که اثر تنش خشکی بر تعداد غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و همچنین درصد روغن و پروتئین دانه گندم بسیار تأثیرگذار بود. وحدی و قلی‌نژاد (Vahdi & Gholinezhad, 2015) نیز اظهار داشتند که صفاتی از جمله؛ تعداد کل گره، تعداد شاخه فرعی، تعداد کل غلاف، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت سویا تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. محدود شدن شاخه‌دهی در شرایط کم‌آبی را می‌توان به‌عنوان یک شیوه سازگاری برای گیاه دارویی بادرنجبویه در نظر داشت. پژوهشگران در بررسی اثر کم‌آبیاری با تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بر آویشن باغی گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن تر و وزن خشک اندام رویشی کاهش می‌یابد

(Omidi *et al.*, 2021). کم‌آبیاری موجب کاهش تعداد شاخه گل دهنده و ارتفاع ساقه در گیاه دارویی گل گاوزبان شد، کاهش رشد و توسعه گیاه می‌تواند به‌دلیل اختلال در تقسیم میتوز، کاهش تورژسانس و رشد و توسعه سلولی باشد (Taghizadeh Tabari *et al.*, 2020). مطالعات مذکور و همچنین نتایج مهربان و همکاران (Mehraban *et al.*, 2019) با یافته‌های این پژوهش مبنی بر کاهش ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه در شرایط بروز تنش خشکی مطابقت داشت.

ویژگی‌های بیوشیمیایی

بر پایه نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده مدیریت آبیاری محتوای فنل و فلاونوئید بادرنجبویه بسیار معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). این در حالی بود که اثر ساده کاربرد مالچ پلاستیکی بر محتوای فنل و فلاونوئید بادرنجبویه معنی‌دار بود اما تأثیر چندانی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نداشت. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی به جز درصد اسانس، بر هیچ یک از ویژگی‌های بیوشیمیایی بادرنجبویه تأثیرگذار نبود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تاثیر مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، بهره‌وری آب، محتوای نسبی آب و درصد اسانس

Table 4- The results of variance analysis of the effect of irrigation management and plastic mulch on biochemical characteristics, water productivity, relative water content and essential oil

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square					
		آنتی اکسیدان Antioxidant activity (%)	فنل Phenol mgGA.g^{-1})	فلاونوئید Flavonoid (mgQU.g^{-1})	بهره‌وری آب Water Productivity (kg.m^{-3})	محتوای آب نسبی Relative water content (%)	درصد اسانس Essential oil percentage (%)
بلوک (Block)	2	5.2150ns	0.2460ns	0.1196ns	0.300ns	2.855ns	0.0028ns
مدیریت آبیاری (IM)	3	241.0665**	5.7365**	11.7788**	28.314**	1354.928**	0.0129*
بلوک × مدیریت آبیاری Block × IM	6	28.3701ns	0.9269ns	0.1223ns	3.754ns	21.009ns	0.0005n
مالچ (PM)	1	26.5651ns	10.3228**	1.1397*	372.881**	635.510**	0.2583**
مدیریت آبیاری × مالچ IM ×PM	3	6.5317ns	1.6098ns	0.2773ns	30.356**	15.111ns	0.2481**
خطا (Error)	8	24.2309	0.4960	0.1695	1.203	13.485	0.0025
کل (Total)	23	-	–	-	–	–	–
ضریب تغییرات (C.V)	–	7.1	6	3.2	3.7	6.4	5.6

**، * و ns به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

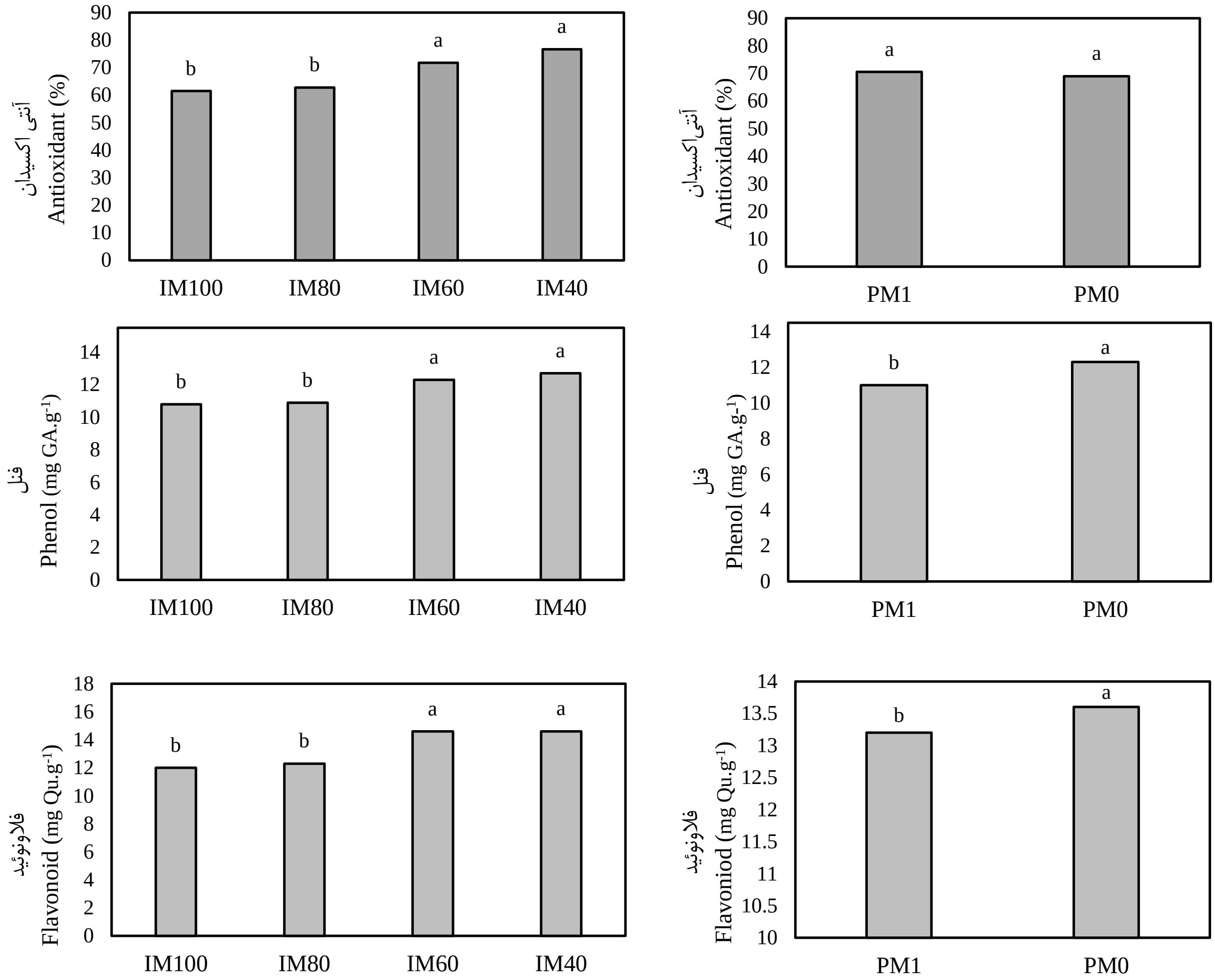
**, * and ns indicate significant difference at 1%, 5% and non-significance levels, respectively.

بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط مدیریت آبیاری IM40 و IM60 به‌ترتیب با ۷۶/۷ و ۷۱/۸ درصد مشاهده شد. در حالی‌که کمترین میزان آن مربوط به شرایط IM100 و IM80 به‌ترتیب با ۶۱/۵ و ۶۲/۸ درصد بود. این در حالی بود که کاربرد مالچ در بستر کشت گیاه بادرنجبویه تأثیر چندان قابل توجهی بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نداشت و تغییرات تقریباً ثابت و یکسان بود (شکل ۴). همچنین بیشترین میزان فنل کل در شرایط مدیریت آبیاری IM40 و IM60 به‌ترتیب ۱۲/۷ و ۱۲/۳میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک مشاهده شد. در حالی‌که کمترین میزان آن مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM100 و IM80 به‌ترتیب با ۱۰/۸ و ۱۰/۹ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم بود. بر اساس نتایج بدست آمده، در شرایط بدون مالچ پلاستیکی، بیشترین میزان فنل کل با ۱۲/۳ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم بدست آمد. این در حالی بود که کمترین میزان آن در شرایط استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه، با ۱۱ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم دیده شد (شکل ۴). بر پایه یافته‌ها، بیشترین میزان فلاونوئید در شرایط مدیریت آبیاری IM40 و IM60 با ۱۴/۶ کوئرستین بر گرم مشاهده شد در حالی‌که کمترین میزان آن مربوط به شرایط IM100 و IM80 به‌ترتیب با ۱۲ و ۱۲/۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بود. همچنین در شرایط بدون مالچ پلاستیکی، بیشترین میزان فلاونوئید با ۱۳/۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بدست آمد این در حالی بود که کمترین میزان آن در شرایط استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه، با ۱۳/۲ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم دیده شد (شکل ۴).

همچنین بر پایه یافته‌ها، میزان درصد اسانس بادرنجبویه، تحت تاثیر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی قرار گرفت. به‌طوری‌که بیشترین درصد اسانس مربوط به شرایط مدیریت آبیاری

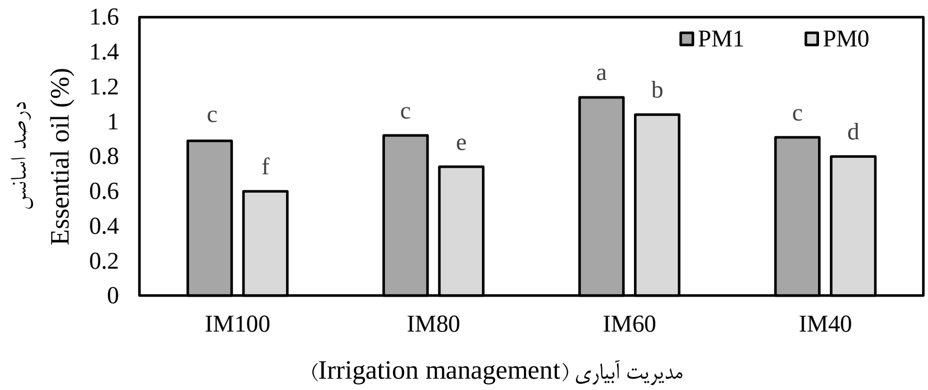
IM60 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه به‌ترتیب با ۱/۱۴ درصد بود و کمترین میزان آن در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و بدون مالچ پلاستیکی با ۰/۵۳ درصد مشاهده شد (شکل ۵).

مکانیسم چگونگی و نحوه تأثیر تنش‌های محیطی بر تولید متابولیت‌های ثانویه که نقش دفاعی بسیار حائز اهمیتی را در گیاهان ایفا می‌نمایند، ساده نبوده و دارای پیچیدگی‌هایی است که گاهی دشواری‌هایی را ایجاد می‌کند. با این وجود شواهد بسیار زیادی نیز وجود دارند که نشان می‌دهند برخی از این ترکیبات دستخوش افزایش محسوس و قابل توجهی در شرایط بروز تنش می‌شوند (Koc *et al*., 2010). در شرایط بروز تنش و به دنبال آن، کاهش عملکرد گیاه، فرایند تثبیت کربن در طی فتوسنتز در راستای تولید متابولیت‌های ثانویه مصرف می‌شود تا در شرایط بروز تنش از اکسیداسیون سلولی ممانعت بعمل آید (Sayadi *et al*., 2015). ترکیبات فنلی در قالب گروه‌های الکترون دهنده و پروتون دهنده قوی، وارد عمل شده و باعث جلوگیری از تنش اکسیداتیو می‌شوند و در نهایت رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کنند (Ghorbanli, 2012). همچنین فلاونوئیدها عمل پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد را با شناسایی تعداد و موقعیت گروه‌های OH فنلی موجود، انجام می‌دهند (Efeoglu *et al*., 2009; Jubany-Mari *et al*., 2010).



شکل ۴- ارزیابی اثرات ساده مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید

Figure 4- Evaluation of the simple effects of irrigation management and plastic mulch on antioxidant activity, phenol and flavonoid contents



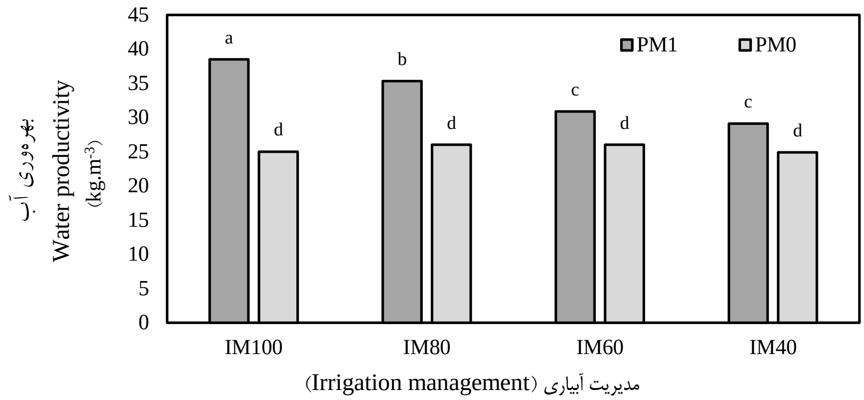
شکل ۵- ارزیابی اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر درصد اسانس

Figure 5- Evaluation of the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on essential oil percentage

سارکر و اوبا (Sarker & Uba, 2018)، گزارش کردند که در شرایط بروز تنش خشکی میزان ترکیبات فنلی، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تاج خروس را تحت تأثیر قرار داده و در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید، میزان آنها افزایش یافت. از طرفی، نتایج کوماریا و همکاران (Komariah *et al*., 2021)، نیز حاکی از افزایش محتوای فلاونوئید در چای ناشی از استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در مقایسه تیمار شاهد (بدون مالچ) بود. نتایج برخی مطالعات از جمله آماره و دستا (Amare & Desta., 2021)، شیوخی و همکاران (Shiukhy *et al*., 2015) و شیوخی و رائینی (Shiukhy Soqanloo & Raeini, 2018) نیز مؤید افزایش ویژگی‌های بیوشیمیایی ناشی از کاربرد مالچ‌های پلاستیکی بواسطه اصلاح خرداقلیم خاک و محیط نوری پیرامون گیاه می‌باشد. هم‌سنجی یافته‌های این پژوهش با نتایج ذکر شده، مطابقت داشت. نتایج مطالعات برخی از پژوهشگران بویژه مطالعات انجام شده در دو گیاه نعناع و ریحان حاکی از آن است که بالا بودن تراکم غده‌های مترشحه اسانس در اثر کاهش سطح برگ ناشی از تنش آبی، موجب انباشت بیشتر اسانس می‌گردد (Farzaneh *et al*., 2010). در این پژوهش می‌توان درصد بالاتر میزان اسانس در شرایط مدیریت آبیاری IM60 را در مقایسه با شرایط مدیریت آبیاری IM100 و IM80 را به کاهش سطح برگ و در پی آن افزایش غده‌های ترشح‌کننده اسانس نسبت داد. همچنین دلیل عمده و اصلی کاهش درصد اسانس در شرایط مدیریت آبیاری IM40 را می‌توان اینگونه بیان کرد که گیاهانی که با این میزان آبیاری می‌شدند، رشد و نمو مناسب و مطلوبی نداشته و ضعیف‌تر بودند. با توجه به اینکه معمولاً بیشترین میزان اسانس در زمان گل‌دهی کامل تشکیل می‌شود، بنابراین رشد و نمو نامطلوب اندام‌های رویشی گیاه در شرایط تنش آبی شدید را می‌توان دلیل اصلی کاهش درصد اسانس در این شرایط مدیریت آب (IM40) قلمداد نمود. هم‌سنجی نتایج این پژوهش با مطالعه رضایی چیانه و همکاران (Reazei-Chiyaneh *et al*., 2021) و شیرانی بیدآبادی و شریفی (Shirani Bidabadi & Sharifi, 2021) در گیاه دارویی بادرنجبویه کاملاً مطابقت داشت.

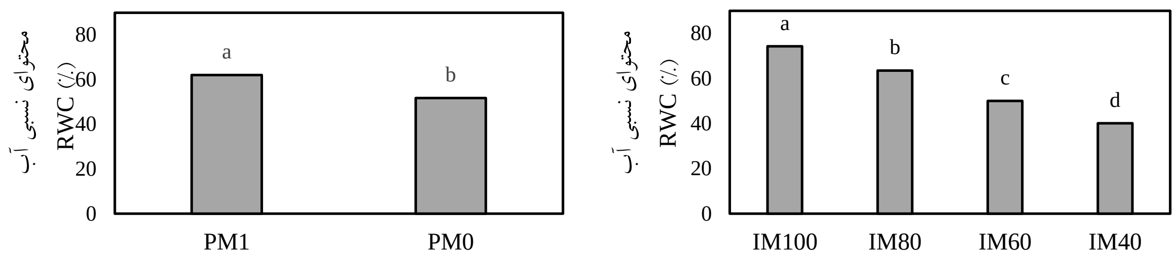
بهره‌وری آب و محتوای نسبی آب

نتایج تجزیه واریانس تأثیر مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب، محتوای نسبی آب برگ و درصد اسانس گیاه بادرنجبویه معنی‌دار بود (P ≤ 0.01). همچنین، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و درصد اسانس بادرنجبویه معنی‌دار بود (P ≤ 0.05). این در حالی بود که اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر محتوای نسبی آب برگ بادرنجبویه معنی‌دار نبود (جدول ۴). بر پایه یافته‌ها، اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر میزان بهره‌وری آب حاکی از آن بود که در شرایط مدیریت آبیاری IM100 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه، بیشترین میزان بهره‌وری آب با ۳۸/۵ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان بهره‌وری آب در شرایط بدون مالچ پلاستیکی مشاهده شد (۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب). درحالی‌که میان هیچ‌کدام از سطوح مدیریتی آب تفاوت چندان قابل توجهی وجود نداشت و بیشتر کاربرد مالچ پلاستیکی بود که اثر گذار بود (شکل ۶).



شکل ۶- ارزیابی اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و کاربرد مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب

Figure 6- Evaluation of the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on water productivity



شکل ۷- ارزیابی اثر برهمکنش مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر محتوای نسبی آب

Figure 7- Evaluation of the interaction effect of irrigation management and plastic mulch on relative water content

نتایج نشان داد که اثر ساده مدیریت آبیاری بر میزان محتوای نسبی آب برگ گیاه در شرایط مدیریت آبیاری IM100، در مقایسه با سایر مدیریت‌های آبیاری بسیار محسوس و آشکار بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ گیاه در شرایط مدیریت آبیاری IM100 با ۷۴/۳ درصد مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ گیاه مربوط به شرایط مدیریت آبیاری IM40 با ۴۰/۱ درصد بود (شکل ۷). همچنین در شرایط کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ گیاه با ۶۲/۱ درصد مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به شرایط بدون مالچ پلاستیکی با ۵۱/۸ درصد بود (شکل ۷).

گلستانی‌فر و همکاران (Golestani Far *et al.*, 2017) بیان کردند که با افزایش تنش خشکی از ۲۰ درصد به ۶۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، بهره‌وری آب گندم کاهش یافت. که دلیل این امر را کاهش کربوکسیلاسیون در طول تنش و فاکتورهای اثر گذار بر انتشار گاز Co_2 به درون کلروپلاست ناشی از کاهش مصرف آب دانستند. شاه‌حسینی و همکاران (Shahhoseini *et al.*, 2012)، نیز نشان دادند که با اعمال شرایط تنش خشکی متوسط ($FC_{66\%}$) و شدید ($FC_{33\%}$)، میزان مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد ($FC_{100\%}$) دچار افزایش محسوسی شد. نتایج شاهرخ‌نیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2017) حاکی از آن بود که میزان آب مصرفی گیاه در شرایط مدیریت آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با مدیریت سنتی، بیش از ۷۵ درصد کاهش یافت. با افزایش شدت تنش آبی، کاهش درصد رطوبت خاک و به دنبال آن کاهش پتانسیل آب برگ رخ می‌دهد. در نتیجه محدودیت در رشد و نمو مطلوب و پاسخ فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه تحت شرایط تنش آبی، را به‌همراه خواهد داشت (Shiukhy Soqanloo *et al.*, 2021). در این پژوهش نیز بررسی تغییرات میزان محتوای آب نسبی برگ نشان داد که حفظ رطوبت خاک در شرایط استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه و عدم تنش، با گذر از شرایط مدیریت آبیاری IM100 به مدیریت آبیاری IM40، روندی کاهشی داشت.

نتیجه‌گیری

بر پایه یافته‌ها، ارزیابی مدیریت آبیاری و مالچ پلاستیکی بر بهره‌وری آب و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه نشان داد که استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت بادرنجبویه منجر به حفظ رطوبت خاک و بهبود شرایط کشت گردید و درنهایت، باعث افزایش رشد اندام‌های رویشی، افزایش بهره‌وری آب و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی شد. به‌طور کلی، با توجه به بحران کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی، آبیاری تحت شرایط IM80 و استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت گیاه دارویی بادرنجبویه نتایج قابل قبول و مطلوب‌تری را در مقایسه با سایر سطوح مدیریت آبیاری و کشت بدون مالچ پلاستیکی به‌همراه داشت. بنابراین می‌توان با کاهش نیاز آبی بادرنجبویه از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۸۰ درصد نیاز آبی، باعث ذخیره منابع آب آبیاری شد و از طرف دیگر با استفاده از مالچ پلاستیکی سیاه در بستر کشت گیاه، عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه را بهبود بخشید.

References

1. Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M.A., & Shiukhy, S. (2022a). Evaluation of treated wastewater irrigation effect on yield components and yield of maize (single cross 704). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(6), 1328-1337. (In Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942. 1400.15.6.8.8
2. Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M.A., & Shiukhy, S. (2022b). Evaluation of wastewater effects on soil chemical characteristics, microelements concentration, heavy metals accumulation and mize yield (Single Cross 704). *Journal of Water and Soil*, *36*(4), 511-524. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JSW. 2022.77424.1178
3. Amare, G., & Desta, B. (2021). Colored plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *8*(4), 1-9. https://doi.org/10.1186/s40538-020-00201-8
4. Arabzadeh, N. (2012). Physiologic responses of *Haloxylon aphyllum* to consecutive tensions of dryness and study of their role in improving resistance to dryness of vase twigs. *Asian Journal of Plant Sciences*, *11*, 28-35. https://doi.org/10.3923/ajps.2012.28.35
5. Ebrahimzadeh, M.A., Pourmorad, F., & Hafezi, S. (2008). Antioxidant activities of Iranian Corn Silk. *Turkish Journal of Biology*, *32*(1), 43-49. https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol32/iss1/7
6. Efeoglu, B., Ekmekçi, Y., & Çiçek, N. (2009) Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, *75*, 34-42. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.06.005
7. El-Mageed, T., Semida, W.M., & El-Vahed, M.H. (2016). Effect of mulching on plant water status, soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt affected soil, *Agricultural Water Management*, *173*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.025
8. Fahad, Sh., Bajwa, A., Nazir, U., Anjum, Sh.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, Sh., Nasim5, W., Adkins, S., Shah Saud, Sh., Ihsan, M.Z., Alharby, H., Wu, Ch., Wang, D., & Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: *Plant Responses and Management Options*, *8*, 1-16. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147
9. Farzaneh, A., Ghani, A., & Azizi, M. (2010). The effect of water stress on morphological characteristic and essential oil content of improved sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Production*, *17*(1), 103-111. (In Persian). https://www.magiran.com/p807155
10. Francia, E., Tondelli, A., Rizza, F., Badeck, F.W., Thomas, W.T.B., van Eeuwijk Romagosa, I., Stanca, A.M., & Pecchioni, N. (2013). Determinants of barley grain yield in drought-prone Mediterranean environments. *Italian Journal of Agronomy*, *8*(1), 1-8. https://doi.org/10.4081/ija.2013.e1
11. Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G., & Zakeri, A. (2012). Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *27*(4), 647-658. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4514
12. Golestani Far, F., Mahmoodi, S., Zamani, G., & Sayyari, M.H. (2017). Effect of drought stress on water use efficiency and root dry weight of wheat (*Triticum aesativum* L.) and rye (*Secale cereale* L.) in competition conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(2), 438-450. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i2.53314
13. Halim, G., Emam, Y., & Shakeri, E. (2018). Evaluation of yield, yield components and stress tolerance indices in bread wheat cultivars at post-anthesis irrigation cut-off. *Journal of Crop Production and Processing*, *7*(4), 121-134. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jcpp.7.4.121
14. Jubany-Marí, T., Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2010). Redox regulation of water stress responses in field-grown plants. Role of hydrogen peroxide and ascorbate. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(5), 351-358. https://doi.org/ 10.1016/j.plaphy.2010.01.021
15. Karimi, S., Zahedi, B., and mumivand, H. (2020). Evaluation of the effect of drought stress on growth, essential oil and some physiological traits of four Basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. *Journal of Plant Production Research*, *27*(2), 201-213 (In Persian with English Abstract). doi: 10.22069/jopp.2020.16509.2513.
16. Koc, E., İslek, C. & Üstun, A.S. (2010). Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll

content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23, 1-6. https://dergipark.org.tr/en/pub/gujs/issue/7387/96708.

17. Komariah, S., Pitaloka, D.D. A., Batubara, I., Nurcholis, w., Sandrawati, A., Setyawati, A., Syamsiyah, J., and Dewi, S. W. (2021). The effects of soil temperature from soil mulching and harvest age on phenol, flavonoid and antioxidant contents of Java tea (*Orthosiphon aristatus* B.). Chem. Biol. Technol. Agric. 8: 56. https://doi.org/10.1186/s40538-021-00256-1.
18. Mehraban, A., Tobe, A., Gholipour, A., Amiri, E., Ghafari, A., and Rostaii, M. (2019). The Effects of Drought Stress on Yield, Yield Components, and Yield Stability at Different Growth Stages in Bread Wheat Cultivar (*Triticum aestivum* L.). *Polish Journal Environmental Studies*, 28 (2), 739-746. doi: 10. 15244/pjoes/85350.
19. Mokari, M., Abedinpour, M., and Dehghan, H. (2020). The effect of drought stress and sowing date on grain yield and water use efficiency in autumn wheat in Kashmar region. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 167-189. doi.org/10.22092/jwra.2020.122256.
20. Naveed, M., Majeed, F., Taleb, A., Zubair, H.M., Shumzaid, M., Farooq, M.A., Baig, M.M.F.A., Abbas, M., Saeed, M., and Changxing, L.A. (2020). Review of Medicinal Plants in Cardiovascular Disorders: Benefits and Risks. *American Journal of Chinese Medicine*, 48(2), 259-286. doi: 10.1142/S0192415X20500147.
21. Nourbakhsh Rezaei, S. R., Shabani, L., Rostami, M., and Abdoli, M. (2019). The Effect of Different Concentrations of Cadmium Chloride on Oxidative Stress in Shoot Cultures of Lemon Balm. *Plant Productions*, *42*(4), 509-522. doi: 10.22055/ppd.2019.24806.1567.
22. Omidi, H., Pirjalili, F., & Ahmadi, K. (2021). Evaluation of the Effect of Drought Stress on Morphphysiological Characteristics of Three Populations of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). Journal of Horticultural Science, 34(4), 605-620. (In Persian with English Abstract). doi: 10.22067/jhorts4.v34i4.82643.
23. Ray, R. R. L., Fares, A., and Risch, E. (2018). Effects of Drought on Crop Production and Cropping Areas in Texas. *Agricultural & Environmental Letters*, 14, 1-5. doi.org/10.2134/ael2017.11.0037.
24. Rezaei-Chiyaneh, E., Mahdavikia, H., Hadi, H., Alipour, H., Kulak, M., Caruso, G., Siddique, K. H. M. (2021). The effect of exogenously applied plant growth regulators and zinc on some physiological characteristics and essential oil constituents of Moldavian balm (Dracocephalum moldavica L.) under water stress. Physiol Mol Biol Plants, 27(10):2201-2214. doi: 10.1007/s12298-021-01084-1.
25. Sarker, U. & Uba, Sh. (2018). Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of Amaranthus leafy vegetable. *BMC Plant Biology*, 18, 258, 1-15. doi: 10.1186/s12870-018-1484-1.
26. Sayadi, A., Ahmadi, J., Asghari, B. and Hoseini, S.M. (2015). Evaluation of drought and salinity stress effects on phenolic compounds of the medicinal plant (*Thymus vulgaris* L.). *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 2(4), 50-61. (In Persian with English Abstract). https://sid.ir/paper/247820/fa.
27. Shahhoseini, Z., Gholami, A., and Asghari, H. (2012). Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 2 (1), 39-57. (In Persian with English Abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008790.1391.2.1.4.9.
28. Shahrokhnia, M.A., jowkar, L. and Rakhshandehru, M. (2017). Influence of water stress on tomato production using leaf temperature and soil moisture indicators under seedling cultivation. *Irrigation and Water Engineering*, 7(2), 97-111 (In Persian with English Abstract). . https://sid.ir/paper/247132/fa.
29. Shirani Bidabadi, S., and Sharifi, P. (2021). Strigolactone and Methyl Jasmonate-Induced Antioxidant Defense and the Composition Alterations of Different Active Compounds in Dracocephalum kotschyi Boiss Under Drought Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40: 878-889. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10157-6.
30. Shiukhy Soqanloo, S. & Raeini, M. (2018). Red Plastic Mulch Effect on Antioxidant Activity and Quality Characteristics in Different Strawberry Cultivars. *Journal of Plant Production Research*, *25*(3), 13-25. (In Persian with English Abstract). doi: 10.22069/jopp.2018.12913.2163.
31. Shiukhy Soqanloo, S. (2023). Modeling the impact of water deficit on wheat yield under climate change conditions. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 71-89. (In Persian with English Abstract). doi: 10.22069/jwsc.2023.21024.3614.
32. Shiukhy Soqanloo, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., & Raeini-Sarjaz, M. (2021). Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). *Journal of Agricultural Meteorology*, *9*(2), 15-28. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22125/agmj.2021.297373.1121
33. Shiukhy, S., Raeini-Sarjaz, M., & Chalavi, V. (2015). Colored plastic mulch microclimates affect strawberry fruit yield and quality. *International Journal of Biometeorology*, *59*(8), 1061-1066. https://doi.org/10.1007/s00484-014-0919-0
34. Singh, H.P., Sharma, P., Kumar, N., Singh, D., & Singh, B. (2017). Influence of mulching on growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected environment. *International Journal of Biotechnology*, *19*(2), 1-6. https://doi.org/10.9734/BJI/2017/35410

35. Taghizadeh Tabari, Z., Asghri, H., Abbasdokht, H., & Babakhanzadeh Sajirani, E. (2020). Effects of biochar and salicylic acid on physiological and morphological characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *36*(1), 98-111. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.127841.2642
36. Vahdi, N., & Gholinezhad, E. (2015). Evaluation of drought tolerance of some soybean cultivars. *Journal of Water Research in Agriculture*, *29*(1), 1-9. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2015.101321
37. Wei, Y., Jin, J., Jiang, Sh., Ning, Sh., & Liu, L. (2018). Quantitative response of soybean development and yield to drought stress during different growth stages in the Huaibei plain, China. *Agronomy*, *9*, 1-16. https://doi.org/10.3390/agronomy8070097